



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE GEOLOGIA

Magno de Sá Freitas



**Estratigrafia de Alta Resolução e Geoquímica Orgânica da
Formação Tremembé, Terciário da Bacia de Taubaté, na região
de Taubaté-Tremembé-SP.**

RIO DE JANEIRO
2007



Magno de Sá Freitas

**Estratigrafia de Alta Resolução e Geoquímica Orgânica da
Formação Tremembé, Terciário da Bacia de Taubaté, na região
de Taubaté-Tremembé-SP.**

Dissertação apresentada como
requisito parcial para obtenção do
título de Mestre, ao Programa de
Pós-Graduação em Análise de
Bacias e Faixas Móveis, da
Universidade do Estado do Rio de
Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Bergamaschi

RIO DE JANEIRO
2007

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CTC/C

F866 Freitas, Magno de Sá.
Estratigrafia de alta resolução e geoquímica orgânica da formação Tremembé, terciário da bacia de Taubaté, região de Taubaté-Tremembé-SP / Magno de Sá Freitas. – 2007.
80 f.

Orientador : Sérgio Bergamaschi.
Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.

1. Geologia estratigráfica – Teses. 2. Geologia orgânica — Teses. 3. Taubaté, Bacia de (SP) I. Bergamaschi, Sérgio. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. III. Título.

CDU 551.7

Magno de Sá Freitas

**Estratigrafia de Alta Resolução e Geoquímica Orgânica da
Formação Tremembé, Terciário da Bacia de Taubaté, na região
de Taubaté-Tremembé-SP.**

Dissertação apresentada como
requisito parcial para obtenção do
título de Mestre, ao Programa de
Pós-Graduação em Análise de
Bacias e Faixas Móveis, da
Universidade do Estado do Rio de
Janeiro.

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Hernani Aquini Fernandes Chaves (Orientador)
Faculdade de Geologia da UERJ

Prof. Dr. Luiz Antônio Freitas Trindade
(PETROBRAS)

Prof. Dr. Sérgio Bergamaschi
Faculdade de Geologia da UERJ

RIO DE JANEIRO
2007

Dedicatória

Esta dissertação é dedicada a toda minha família, em especial a meu pai Manoel Mendonça, minha mãe Maria de Fátima de Freitas e meus dois irmãos Milton e Ivanildo. Dedico também a meu orientador Dr. Sérgio Bergamaschi da Faculdade de Geologia da UERJ.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e força de vontade de superar as dificuldades e desafios que a vida proporciona.

Agradeço a todos os meus colegas de pós-graduação, Marcelo Fagundes de Rezende, Pablo Simões Martins, Mary Luz Raigosa, Ana Paula, Carmen Alferes e Natasha Stanton pela boa amizade e companheirismo durante o mestrado.

Aos professores da pós-graduação da UERJ e a todos os funcionários da faculdade de geologia, em especial à Regina Célia Lima Cabral, que de uma forma ou de outra contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho.

Um especial agradecimento à Maria Suzana Pessoa de Souza, colaboradora do Laboratório de Geoquímica da UERJ, pela revisão do resumo/abstract.

Ao Programa de Recursos Humanos da ANP (PRH-17) pelo auxílio financeiro proporcionado durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Setor de Geoquímica do Centro de Pesquisas da Petrobras (SEGEQ/CENPES), pela realização das análises de pirólise.

Um especial agradecimento ao meu Orientador Sérgio Bergamaschi pela grande força, paciência e dedicação, ao co-orientador René Rodrigues e ao professor Egberto Pereira pelas críticas construtivas durante a realização deste trabalho.

Resumo

Este trabalho trata do estudo da estratigrafia de alta resolução e geoquímica orgânica da Formação Tremembé, na Bacia Sedimentar de Taubaté-SP, de idade cenozóica, com base nos dados de teores de Carbono Orgânico Total (COT), teores de enxofre total e Resíduo Insolúvel (RI), dados de pirólise *Rock-Eval* bem como dos resultados de espectrometria de raios gama. Estes dados foram obtidos a partir de amostras selecionadas de testemunhos de duas sondagens rasas, respectivamente 55,40 m (poço TMB-01-SP) e 18,02m (poço TMB-02-SP), resultantes de testemunhagem contínua ao longo do intervalo de folhelhos da Formação Tremembé. O intervalo analisado da Formação Tremembé foi dividido em nove unidades quimioestratigráficas, as quais foram correlacionadas com os dados de Pirólise *Rock-Eval* e com os dados de raios gama. Com base nos resultados de Pirólise *Rock-Eval*, verificou-se que a grande maioria da matéria orgânica da Formação Tremembé é do tipo I, que é rica em hidrogênio e pobre em oxigênio, correspondendo ao melhor tipo de matéria orgânica para a geração de hidrocarbonetos líquidos e gasosos. As unidades quimioestratigráficas D e F são as que apresentam os maiores potenciais de geração de hidrocarbonetos, correspondendo aos folhelhos betuminosos papiráceos. Na seção estudada (poço TMB-SP) foram identificados cinco níveis com concentrações muitas elevadas de COT, considerando-se apenas teores acima de 20%. Desses cinco níveis, dois se destacam, por apresentarem teores de COT superiores a 30%. Considerando-se os dados de pirólise *Rock-Eval*, nota-se que esses dois intervalos são os que oferecem uma maior atratividade quanto ao seu potencial gerador, já que representam valores de S2 que excedem a 100mg HC/g de rocha, além de valores de IH sempre superiores a 600.

Palavras-chave: Geologia; Estratigrafia, Geoquímica.

Abstract

This work is about the study of the high-resolution stratigraphy and organic geochemistry of the Tremembé Formation, in the Taubaté Sedimentary Basin-SP, of Cenozoic age. This work is based on the Total Organic Carbon contents (TOC), total sulphur contents and Insoluble Residue contents (IR), Rock-Eval pyrolysis data as well as the results of gamma rays spectrometry. These data were obtained from selected samples of coring from two shallow drillings, respectively 55,40 m (borehole TMB-01-SP) and 18,02m (borehole TMB-02-SP), resulting of continuous coring throughout the shales interval of the Tremembé Formation. The analyzed interval of the Tremembé Formation was divided in nine chemostratigrafic units that were correlated with the Rock-Eval pyrolysis data and the data of gamma rays spectrometry. Based on the results of Rock-Eval pyrolysis data, was verified that the great majority of the organic matter of the Tremembé Formation is of type I, that is rich in hydrogen and poor in oxygen, corresponding to the best type of organic matter for the generation of liquid and gaseous hydrocarbons. Chemostratigrafic units D and F are the ones that present the greatest potential of generation of hydrocarbons, corresponding to the papyraceous bituminous shales. In the section studied in the borehole TMB-SP, were identified five levels with TOC contents around 20%. Of these five levels, two of them present TOC contents higher than 30%. When considering the Rock-Eval pyrolysis data, these two intervals are the most interesting ones relatively to the generating potential, since they represent values of S₂ that exceed 100mm HC/g of rock, and values of IH always higher than 600.

Keywords: Geology, Stratigraphy, Geochemistry.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização da área de estudo -----	3
Figura 1.2: Localização aproximada dos poços TMB-01 e TMB-02-SP furados na bacia de Taubaté.-----	4
Figura 2.1: Contexto geológico regional do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) - (1) embasamento pré-cambriano; 2) rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná; 3) rochas vulcânicas toleíticas eocretáceas da Formação Serra Geral; 4) rochas relacionadas ao magmatismo alcalino mesozóico-cenozóico; 5) bacias cenozóicas do rift (1- Bacia de Itaboraí, 2- Gráben de Barra de São João, 3- Bacia do Macacu, 4- Bacia de Volta Redonda, 5- Bacia de Resende, 6- Bacia de Taubaté , 7- Bacia de São Paulo, 8- Gráben de Sete Barras, 9- Formação Pariqüera-Açu, 10- Formação Alexandra e Gráben de Guaraqueçaba, 11- Bacia de Curitiba, 12- Gráben de Cananéia); 6) zonas de cisalhamento pré-cambrianas, em parte reativadas durante o Mesozóico e Cenozóico.-----	6
Figura 2.2: Evolução tectono-sedimentar proposto para o rift continental do Sudeste do Brasil.-----	7
Figura 2.3: Mapa geológico da Bacia de Taubaté -1) embasamento pré-cambriano; 2) Formação Resende (sistema de leques aluviais proximais); 3) Formação Resende (sistema de leques aluviais medianos a distais associados a planície aluvial de rios entrelaçados); 4) Formação Tremembé ; 5) Formação São Paulo; 6) Formação Pindamonhangaba; 7) sedimentos quaternários; 8) falhas cenozóicas, em parte reativadas do embasamento pré-cambriano; 9) eixos de dobras principais.-----	11
Figura 2.4: Mapa do arcabouço estrutural da Bacia de Taubaté.-----	12

Figura 2.5: Mapa de distribuição dos quatro riftes do SRCBS: (A) **Paraíba do Sul**, (B) **Litorâneo**, (C) **Ribeira**, e (D) **Marítimo**; de suas falhas limitantes, preenchimentos sedimentares, intrusões/lavas alcalinas, charneira cretácea das Bacias de Santos/Campos e o Rio Paraíba do Sul. ----- 14

Figura 2.6: Perfil morfo-estrutural interpretado do Rifte do Paraíba do Sul (Gráben de Taubaté) e do Rifte Litorâneo (Sub-Gráben de Paraty). Perfil típico de tectônica dominó. Linha vermelha representa interpretação da atitude atual da SAJ.----- 16

Figura 3.1: Seções geológicas da Bacia de Taubaté elaboradas a partir de dados sísmicos da Petrobrás. Seção A-B, porção nordeste do Compartimento São José dos Campos; seção C-D, parte central do Compartimento Taubaté; seção E-F, porção sudoeste do Compartimento Aparecida; seção GH, porção centro-nordeste do Compartimento Aparecida.----- 21

Figura 3.2 – Quadro litoestratigráfico e evolução tectono-sedimentar do segmento central do RCSB, onde a Formação Tremembé está estratigraficamente situada na porção intermediária do Grupo Taubaté,- Letras: p - leques aluviais proximais; m-d - leques aluviais medianos a distais associados à planície aluvial de rios entrelaçados; t -depósitos de tálus; c - depósitos coluviais; ca - depósitos colúvioaluviais; a – depósitos aluviais.----- 25

Figura 3.3- Representação esquemática da estratificação térmica da coluna d'água de um lago (A) e padrão de circulação da massa d'água em lagos de regiões de clima temperado durante o verão e o outono (B).----- 30

Figura 4.1: Exemplo de aplicação dos conceitos da Estratigrafia de Seqüências em sucessões lacustres, ilustrando a distribuição das fácies sedimentares que compõem o sistema deposicional glácio-lacustre do Grupo Itararé-RS .----- 33

Figura 5.1 - Fluxograma com as etapas desenvolvidas no trabalho.----- 44

Figura 5.2 – Classificação e evolução térmica dos querogênios de acordo com o diagrama tipo “Van Krevelen”.----- 47

Figura 6.1: Testemunhos de folhelhos argilosos da Formação Tremembé, poço TMB-01-SP, mostrando detalhe das cores cinza a pretas e finas camadas de silte indicadas pelas setas.----- 51

- Figura 6.2:** Testemunhos da Formação Tremembé, poço TMB-01-SP, mostrando detalhe das argilas esmectíticas verdes.----- 52
- Figura 6.3:** Testemunhos de folhelho do poço TMB-01-SP mostrando detalhe do intervalo betuminoso papiráceo.----- 53
- Figura 6.4:** Foto com detalhe dos microfósseis ostracodes em abundância no intervalo de folhelho betuminoso papiráceo.----- 53
- Figura 6.5:** Bioturbações por anelídeos (planolites) observados nos testemunhos ao longo da sucessão de folhelhos argilosos. Bioturbação em seção (foto A) e em planta (foto B).----- 54
- Figura 6.6:** Lamito seixoso maciço verde da Formação Tremembé, poço TMB-01-SP.----- 54
- Figura 6.7:** Folhelho argiloso com injeção de lama (argilocinese) observado ao longo da sucessão da Formação Tremembé. Argilocinese em seção (foto A) e em planta (foto B).----- 55
- Figura 6.8:** Camada de carbonato observado na base do intervalo testemunhado da Formação Tremembé.----- 55
- Figura 6.9:** Junção dos poços TMB-01-SP e TMB-02-SP com a comparação entre os teores de carbono orgânico total (COT), enxofre total e resíduo insolúvel. Observar as características das nove unidades quimioestratigráficas (A,B,C,D,E,F,G,H,I) definidas para este intervalo da Formação Tremembé.----- 57
- Figura 6.10 -** Junção dos poços TMB-01 e TMB-02 mostrando a relação entre os teores de COT e os valores de raios gama total e as relações th/u e th/K .----- 62
- Figura 6.11 -** Relação entre os valores de carbono orgânico total (COT) e índice de hidrogênio (IH)(A) e entre o COT e o potencial gerador (S_2)(B).----- 64
- Figura 6.12 -** Diagrama tipo Van Krevelen mostrando a distribuição das amostras e a classificação quanto ao tipo de matéria orgânica para cada unidade quimioestratigráfica.----- 65

Figura 6.13 - Diagramas de Van Krevelen para cada unidade quimioestratigráfica do intervalo de folhelho da Formação Tremembé. Observar que a matéria orgânica de melhor qualidade (MO tipo I) estão presentes nas unidades C, D, E, F, H, I.----- 66

Figura 6.14 - Junção dos poços TMB-01-SP e TMB-02-SP com a correlação entre os teores de carbono orgânico total (COT), potencial gerador (S₂), índice de hidrogênio (IH) e temperatura máxima (T_{máx})----- 68

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO -----	1
1.1 Introdução-----	1
1.2 Objetivo-----	2
1.3 Localização da área de estudo-----	3
2. O RIFT CONTINENTAL DO SUDESTE DO BRASIL (RCSB) -----	5
2.1 O Segmento central do RCSB-----	9
2.2 Breve Síntese do SRCSB-----	13
3. A BACIA DE TAUBATÉ -----	19
1.4 Contexto geológico estrutural e arcabouço tectono-estratigráfico.-----	21
3.2 A Formação Tremembé-----	23
3.3 O ambiente de formação (lacustre)-----	25
3.3.1 Classificação e aspectos físico-químicos dos lagos-----	27
4. PRECEITOS METODOLÓGICOS -----	32
4.1 A moderna estratigrafia-----	32
4.2 Estratigrafia em Sistemas Lacustres-----	34
4.3 A Estratigrafia Química-----	36
4.4 A Matéria Orgânica Lacustre-----	36
4.5 A Geoquímica Orgânica do Petróleo-----	38
5. MATERIAIS E MÉTODOS -----	40
5.1 Levantamentos bibliográficos-----	40
5.2 Trabalhos de campo na área de estudo-----	40
5.3 Etapa de trabalho em laboratório-----	41
5.3.1 Preparação das amostras-----	41
5.3.2 Procedimentos técnicos para análise de carbono orgânico total (cot) e enxofre.-----	41
5.3.3 Determinação dos teores de carbono e enxofre-----	42
5.3.4 Espectrometria de raios gama (RG)-----	43
5.3.5 Pirólise <i>Rock-Eval</i> -----	44

5.3.6 Análise e processamento dos resultados-----	48
5.4 Importância econômica-----	48
6. RESULTADOS OBTIDOS-----	50
6.1 Caracterização Litológica das unidades-----	50
6.2 Estratigrafia de Alta Resolução-----	56
6.2.1 Análise de ciclos deposicionais com base nos dados gamaespectrométricos----	60
6.3 Avaliação da Matéria Orgânica-----	64
6.4 Implicações econômicas e sugestões para novos estudos-----	69
7. CONCLUSÕES-----	72
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	74

Anexos:

Anexo 1: Fotos dos testemunhos do poço TMB-01-SP, Formação Tremembé, Bacia de Taubaté.

Anexo 2: Fotos dos testemunhos do poço TMB-02-SP, formação Tremembé, Bacia de Taubaté.

Anexo 3: Resultado das análises de pirólise *Rock-Eval*

Anexo 4: Perfil dos poços TMB-01-SP e TMB-02-SP com a correlação entre os teores de COT, hidrocarbonetos gerados (S_1), potencial gerador (S_2) e o índice de hidrogênio (IH).